

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**High precision position sensor for linear or esp. rotary motion - has flat coils forming inductances moved w.r.t. metal objects, pattern analyser of inductance parameters**

Patent Number: DE4213866

Publication date: 1992-10-29

Inventor(s): MUELLER UWE (DE); HERMANN MICHAEL (DE); HEIDE JOHANN VON DER (DE)

Applicant(s): PAPST MOTOREN GMBH & CO KG (DE)

Requested Patent:  DE4213866

Application Number: DE19924213866 19920427

Priority Number(s): DE19924213866 19920427; DE19910005145U 19910426

IPC Classification: G01B7/00; G01B7/30; G01D5/20; G01V3/10; G06F3/033; H02K29/06; H02P6/00; H03J3/20

EC Classification: G01B7/30, G01D5/20B1, G01D5/20B2, G01P3/48C, G01B7/00C

Equivalents:

---

**Abstract**

---

The position sensor has variable inductances in the form of flat coils, esp. made using printed circuit technology, whose inductance depends on the presence of one or more metallic, ferromagnetic or diamagnetic objects. The inductances and at least one of the objects are moved relative to each other. There are at least two separate inductances (2, 3, 6) and a device for determining their parameters. A pattern analysis device performs a harmonic analysis of the parameters of the inductances. The results of the pattern analysis are converted into a position value.

USE/ADVANTAGE - Esp. for rotary motion. The robust position sensor can detect linear or rotary motion with a high degree of precision, is insensitive to dust and fouling and has partic. advantageous manufacturing costs.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

(12) **Offenlegungsschrift**  
(10) **DE 42 13 866 A 1**

(51) Int. Cl. 5:  
**G 01 B 7/00**

G 01 B 7/30  
G 01 D 5/20  
G 01 V 3/10  
G 06 F 3/033  
H 03 J 3/20  
H 02 K 29/06  
H 02 P 6/00

(30) Innere Priorität: (32) (33) (31)  
26.04.91 DE 91 05 145.2

(71) Anmelder:  
Papst-Motoren GmbH & Co KG, 7742 St Georgen, DE

(72) Erfinder:  
Heide, Johann von der, 7230 Schramberg, DE;  
Hermann, Michael, 7730 Villingen-Schwenningen,  
DE; Müller, Uwe, 7821 Eisenbach, DE

(54) Positionssensor

(57) Positionssensor zum Erfassen linearer oder rotatorischer Bewegungen mit hoher Auflösung.  
Eine Anzahl von Induktivitäten ist flächig in linearer Anordnung oder auf einem Kreis angebracht. Sie dienen als frequenzbestimmende Elemente für mehrere Oszillatoren. Ihre Induktivitätswerte werden durch Anwesenheit von metallischen Gegenständen beeinflusst, was gleichzeitig die Oszillatorkreuzfrequenzen beeinflusst.  
Die unterschiedliche Höhe der Oszillationsfrequenzen wird einer Mustererkennung unterzogen und liefert einen genauen Kennwert für das gesuchte Positionssignal.

**DE 42 13 866 A 1**

**DE 42 13 866 A 1**

# DE 42 13 866 A1

1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Positionssensor zum Erfassen linearer oder rotatorischer Bewegungen mit hoher Auflösung.

Ein typischer Anwendungsfall für Sensoren dieser Art besteht darin, die Rotorposition bzw. Winkellage eines Elektromotors zu ermitteln. In einem anderen Anwendungsfall ist es beispielsweise erforderlich, die Drehgestellung eines Ventils oder einer Drosselklappe zu ermitteln.

Ein weiterer typischer Anwendungsfall besteht darin, manuell ausgeführte Bewegungen in ein rechnergeeignetes Eingangssignal umzuwandeln.

Für die genannten Anwendungsfälle werden bevorzugt Sensoren verwendet, welche aus einer oder mehreren Lichtschranken bestehen, welche durch eine bewegliche, geschlitzte Scheibe betätigt werden.

Bei einer Drehbewegung solcher Scheiben um eine vorgegebene Achse ist es daher möglich, mittels der Lichtschranke ein elektrisches Signal abzugeben, welches durch unterschiedliche Höhe bzw. Intensität die Drehlage einer Scheibe signalisiert.

Solche Sensoren stehen in vielfältigen Ausführungsformen zur Verfügung. Sie müssen jedoch in jedem Falle vor Staub und Verschmutzung geschützt werden. Für Sensoren mit hoher Auflösung sind relativ fein strukturierte Scheiben erforderlich, welche die Kosten eines solchen Sensors stark beeinflussen.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen robusten Sensor bereitzustellen, der staub- und verschmutzungsunempfindlich ist, eine hohe Auflösung besitzt und sich durch besonders günstige Herstellkosten auszeichnet.

Diese Aufgabe wird gelöst durch den kennzeichnenden Teil des Hauptanspruchs, insbesondere durch eine Ausführungsform gemäß Unteranspruch 10.

Weitere Ausbildungen der Erfindung gehen aus den weiteren Unteransprüchen, der Beschreibung und den Figuren hervor.

Es zeigt:

Fig. 1 einen erfindungsgemäßen Sensor mit 6 Einzelspulen, welche ihre Induktivitätskennwerte durch die Drehlage eines Rotorteils 7 periodisch ändern;

Fig. 2 das Blockschaltbild einer zugehörigen Oszillatorm- und Auswerter-Elektronik 20;

Fig. 3 die Funktion einer Konstanten 33 mit überlagertem Sinusterm 32 dargestellt in kartesischen (Fig. 3B) und Polar-Koordinaten (Fig. 3 A);

Fig. 4A, 4B, 4C, 4D verschiedene Formgebungen von Einzelspulen 40, 48 und 49;

Fig. 5 ein Blockschaltbild einer Oszillatorstufe 50 für Spulen gemäß Fig. 1 oder 4;

Fig. 6 den variablen Verlauf der Induktivitäten einzelner Spulen gemäß Fig. 1 oder 4 über den Drehwinkel eines Rotorteils gemäß Fig. 1;

Fig. 7 eine Konstruktion zur Analyse der Rotorposition eines Rotorteils 7 und Darstellung eines repräsentativen Phasenwinkels  $\Theta$  (Theta), der eine Position eines solchen Rotorteils wiedergibt;

Fig. 8 eine Formgebung für ein Rotorteil bestehend aus einem ferromagnetischen Anteil und einem metallischen, diamagnetischen Anteil;

Fig. 9 die exakte Kontur eines zweiflügigen Rotorteils in Form einer allgemeinen Konchoide;

Fig. 10 eine exakte Kontur ähnlich Fig. 9 mit annähernd geraden Seitenteilen;

Fig. 11 eine exakte Kontur in Form einer Konchoide

2

mit nur einem Flügel;

Fig. 12 eine Anordnung mit drei Spulen, welche eine winkelmäßige Ausdehnung von 90 deg. mech. besitzen und gleichmäßig über den Winkel von 360 deg. verteilt sind.

Die Erfindung ermöglicht die kostengünstige Konstruktion von Drehsensoren durch die Kombination mehrerer verschiedener Einzelmaßnahmen, von denen die folgenden für sich allein bekannt sind:

- Spulenausführung in Form einer gedruckten Schaltung,
- Induktivitätsbestimmung einzelner Spulen durch Anordnung in einem Oszillator-Schaltkreis und Messung der Oszillationsfrequenzen,
- Auswertung von mehr als zwei Meßwerten durch Interpolation bzw. Musteranalyse, bevorzugt mittels einer Fourier-Analyse oder -Transformation.

Eine weitere Maßnahme, wie sie an sich noch nicht bekannt ist, besteht darin, durch geeignete Formgebung von Spulen und beeinflussendem Rotorteil (Rotorteil des Sensors) eine besondere Art der Änderung der Induktivitätskennwerte oder der Oszillatorkreisen über den Drehwinkel des Rotorteils zu erlangen.

Diese Änderung oder Variation besteht aus einer periodischen, sinusartigen Funktion und zeichnet sich durch einen möglichst geringen Anteil an Oberwellen aus.

Dies heißt mit anderen Worten, daß die Induktivität einen konstanten Grundwert besitzt und aufgrund der Rotorbewegung eine überlagerte Welligkeit aufweist, die die Form einer Sinusfunktion besitzt.

Eine solche Maßnahme bewirkt in vorteilhafter Weise, daß aus von z. B. drei gleichzeitig gewonnenen Meßwerten eine relativ genaue Extrapolation der Rotorlage möglich ist, so daß die Verwendung von Korrekturtabellen oder -funktionen entbehrlich ist oder allenfalls zur Errechnung besonders genauer Positions-werte herangezogen werden muß.

In einfacheren Ausführungsformen der Erfindung kann auf eine spezielle Formgebung von Spulen und/oder Rotorteilen verzichtet werden, allerdings ist dann zur Steigerung der Meßgenauigkeit die Verwendung der genannten Korrekturtabellen oder -funktionen erforderlich.

Fig. 1 zeigt einen kompletten Sensor, jedoch ohne die zugehörige Elektronik.

Auf einer Grundplatte 1 befinden sich mehrere, mindestens jedoch 3 unterschiedliche Spulen oder Spulen-sätze.

Diese Spulen können, wie in der Fig. 1 dargestellt, z. B. in gedruckter Leiterplattentechnik ausgeführt sein, sie können aber auch gewickelt sein, z. B. in der bekannten Backlackdraht-Technik.

In der Fig. 1 sind sechs Einzelspulen dargestellt, von denen drei mit den Bezugsziffern 2, 3 und 6 gekennzeichnet sind.

Es ist nützlich, jeweils zwei diametral liegende Spulen in Serie zu verbinden, so daß sich eine doppelt so große Induktivität ergibt.

Auf diese Weise sind in Fig. 1 drei Spulengruppen von je zwei Einzelspulen vorhanden. Der Vorteil dieser Maßnahme ist darin zu sehen, daß verschiedene Fehler-einflüsse, wie z. B. fehlerhafte Übereinstimmung zwischen Drehachse 9 und dem Zentrum der Spulenanordnung auf der Grundplatte 1 bereits zu einem gewissen

Grade kompensiert werden.

Oberhalb der Grundplatte 1 mit der Spulenanordnung befindet sich ein Rotorteil 7, welches mittels bzw. um eine Drehachse 9 gedreht werden kann. Der Drehwinkel um die Achse wird mit ( $\phi$ ) bezeichnet und kann mehr als 360 deg. mech. betragen.

Das Rotorteil 7 besteht im einfachsten Falle aus einem Stück Eisenblech. Es besitzt vorzugsweise eine spezielle Berandung oder Kontur 8.

Bei Bedarf ist es mit radial verlaufenden Schlitten 10 versehen, welche die Ausbildung von Wirbelströmen verringern, sofern das Rotorteil 7 aus einem Blechstück besteht.

Alternativ kann das Rotorteil auch aus einem Ferrit-Teil bestehen, oder einem Kupferblech. Es ist natürlich auch möglich, eine geschichtete Bauweise aus einem Plastikträger und einem relativ dünnen Blechteil vorzusehen, insbesondere wenn hochpermeable Bleche als wirksamer Bestandteil für das Rotorteil 7 vorgesehen sind. Solche Bleche sind dann auf einer der Stirnflächen 11 des Rotorteils angebracht.

Wichtig ist bei der Konstruktion des Sensors, daß Rotorteil und Spulensatz eine unterschiedliche Symmetrie aufweisen, d. h. daß z. B. das Rotorteil eine, zwei, vier oder acht etc. Symmetriechsen aufweist, während die Spulenanordnung z. B. eine ungeradzahlige Symmetrie aufweist, d. h. Vielfache von 3, 5, 7, etc. Spulen vorhanden sind bzw. umgekehrt. Auf diese Weise entsteht eine unterschiedliche Periodizität zwischen Peripherie des Rotorteils und der Spulenanzahl, welche für die auszuführende Analyse der einzelnen Induktivitätswerte der Spulen oder Spulengruppen von Vorteil ist.

Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild einer zum Sensor zugehörigen Auswerteelektronik. Die Spulen bzw. Spulengruppen des Sensors sind dort mit L1, L2, L3 bezeichnet. Andere erfundungsgemäße Sensorkonstruktionen verwenden weitere Induktivitäten, z. B. fünf, sechs, sieben etc. Spulen oder Spulensätze.

Die Spulen bzw. Induktivitätswerte L1, L2, L3 arbeiten separat mit zugehörigen Oszillatoren 21, 22 bzw. 23 zusammen, welche Ausgangssignale f1, f2 und f3 etc. an die Auswerteeinheit 20 abgeben, wobei die Ausgangssignale vergleichbar große, aber merklich unterschiedliche Frequenzen aufweisen. Die Frequenzunterschiede betragen typischerweise einige Prozent bezogen auf einen mittleren bzw. kennzeichnenden Frequenzwert dieser Ausgangssignale und sind abhängig von der Position des Rotorteils 7.

Die Auswerteeinheit besteht zweckmäßigerweise aus einer elektronischen Schaltung, insbesondere einer Mikroprozessor-Schaltung, und besitzt insbesondere mindestens eine Frequenzmessungsstufe 24 zum Ermitteln der unterschiedlichen Frequenzen der Signale f1, f2, f3.

Hierzu dient vorzugsweise eine oder mehrere Zeitgeber/Zählereinheiten (Counter/Timer), wie sie in vielen Mikroprozessor-Bausteinen bereits fest eingebaut sind.

Weiterhin weist die Auswerteeinheit 20 eine Analysator-Stufe 25 auf, welche die ermittelten Frequenzwerte der Signale f1, f2, f3 benutzt, um eine Musteranalyse dieser Frequenzwerte durchzuführen und sich zu diesem Zweck im einfachsten Falle einer sog. Diskreten Fourier-Transformation (DFT) bedient.

Die Auswerteeinheit 20 gibt solcherart ermittelte bzw. analysierte Meßwerte weiter an eine digital oder analog arbeitende Anzeige 26 oder an einen übergeordneten Rechner oder Regler 27, der in einem bevorzugten Anwendungsfall die Energetisierung eines Motors mit elektrischer Energie, Druckluft etc. steuert.

Fig. 3 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform für die Berandung oder Kontur eines erfundungsmäßigen Rotorteils 7.

Zur Reduzierung der oben genannten Oberwellen ist es nämlich wichtig, daß die Kontur des Rotorteils abgestimmt ist auf die Form bzw. Kontur der Spulen. Eine besonders günstige Ausführungsform ergibt sich, wenn die Kontur des Rotorteils in Form einer allgemeinen Konchoide ausgelegt wird und daher in Polarkoordinaten gemäß einer Formel  $r = a + b \cdot \cos(c \cdot \phi)$  definiert ist, wobei r einen Fahrstrahl angibt, der sich vom Drehzentrum des Rotorteils aus erstreckt. Zwischen r und einer vordefinierten Grundstellung erstreckt sich der Winkel  $\phi$ .

Fig. 3A zeigt eine Kontur 31 in Form einer allgemeinen Konchoide, wie sie sich um ein Zentrum Z, 30, erstreckt.

Diese Kurve stellt somit die Abwicklung einer Konstanten 33 mit überlagerter Sinusfunktion 32 dar, wie sie in Abb. 31B in kartesischen Koordinaten abgebildet ist.

In einer einfacheren Ausführungsform genügt es, eine etwa ovale oder ellipsenähnliche Berandung 8 des Rotorteils 7 vorzusehen. In einem anderen Ausführungsbeispiel besitzt das Rotorteil etwa die Form einer Ziffer 8 oder die Form einer sog. Lemniskate.

In der Fig. 3A ist die Berandung des Rotorteils 7 so gestaltet, daß auf 360 deg. mech. Winkel genau zwei Maximal-Ausdehnungen in radialer Richtung vorhanden sind.

Natürlich kann das Rotorteil eine andere Anzahl radia-  
ler Maximal-Erstreckungen aufweisen, insbesondere nur eine auf 360 deg. mech., was eine exzenter- oder konchoidenförmige Kontur ergibt, oder aber auch 3, 4, 5, 6, etc. auf 360 deg. mech., so daß sich Konturen in Form eines Kleeblattes etc. ergeben.

Ovale oder kreisförmige Formgebungen werden mit Vorteil auch für die Kontur 48 der Spulen des Sensors vorgesehen. (Fig. 4A) In einer anderen Ausführungsform besitzen die Spulen die Form von Kreis-Sektoren oder Sektoren von Kreisringen, d. h. die in radialer Richtung verlaufenden Begrenzungslinien der Spulen sind annähernd geradlinig und schließen einen Winkel alpha, Bezugssymbol 41, ein (Fig. 4B, Fig. 4C). Die Spulen besitzen typischerweise Anfangskontaktierungen 47 und End-Kontaktierungen 46 und werden durch einen Innendurchmesser 42 sowie einen Außendurchmesser 43 begrenzt.

Zur Feindefinition eines Induktivitätsverlaufs L( $\phi$ ) über den Drehwinkel eines Rotorteils 7 ist noch eine Korrekturkontur 44 vorgesehen.

In einer weiteren Ausführungsform leitet sich die Spulenform derart ab, daß die Abwicklung der Spule eine Fläche ergibt, die von einer Funktion ähnlich einer Cosinusfunktion berandet ist (Fig. 4D).

Die harmonische Analyse der Berandung solcher Spulen ergibt daher einen Satz periodischer Funktionen, von denen eine Funktion vergleichsweise stark vertreten ist und mit der dominanten Berandungsfunktion des Rotorteils übereinstimmt.

Fig. 5 zeigt die prinzipielle Anordnung einer einzelnen Spule 51 oder eines Spulensatzes im Zusammenspiel mit einer Oszillatorschaltung 50. Hierzu existieren viele, dem Fachmann bekannte Schaltungen.

Im Normalfall wird pro Oszillator 50 eine ebenfalls frequenzbestimmende Kapazität 55 benötigt. Diese Kapazität ist in der Regel für alle Oszillatoren von gleicher Größe.

Es ist gemäß bekannten Gyratorschaltungen natür-

lich ebenfalls möglich, anstelle der Kapazität 55 eine weitere Spule heranzuziehen, so daß Abweichungen der Kapazitätswerte von einem Nominalwert dann keine Rolle mehr spielen.

Wie in der Fig. 5 angedeutet, wird die Induktivität 51 durch Anwesenheit von entweder ferromagnetischen Materialien 52 oder diamagnetisch wirkenden Materialien 53 beeinflußt, oder durch eine Kombination beider solcher Materialien.

Je nach Überdeckung einer Spule durch ein Rotorteil mit obengenannten Eigenschaften ergibt sich eine veränderliche Frequenz des Oszillators 50. Diese kann am Ausgang 56 gegenüber dem Massepotential 57 abgegriffen und weiterverarbeitet werden.

In Fig. 6 ist dargestellt, wie aufgrund der Dreizähligkeit der Spulen pro Sensor und einer bevorzugten Zweizähligkeit des Rotorteils 7 ein unterschiedlicher Verlauf der Induktivitäten über die Drehstellung ( $\phi$  oder  $x$ ) des Rotorteils 7 eintritt. Die Kurven sind untereinander ähnlich, weisen aber bezüglich eines kennzeichnenden Durchgangs durch eine Mittelwert-Linie charakteristische Phasenversatzmaße  $\delta\gamma_1$ ,  $\delta\gamma_2$  und  $\delta\gamma_3$  auf.

Bei einer dreizähligen Spulenanordnung betragen diese Winkel im Prinzip genau 120 deg. el.

Wie man sieht, gehört zu jedem Winkel  $\phi$  bzw. zu jeder Position  $x$  des Rotorteils 7 eine eindeutige Kombination von drei Induktivitätswerten bzw. drei Oszillator-Frequenzwerten.

Da die gezeichneten Funktionen sinusförmigen Charakter haben, bedeutet dies, daß in einer Rück-Rechnung aus drei gemessenen Induktivitätswerten auch auf die Position des Rotorteils 7 eindeutig zurückgeschlossen werden kann.

Vergleichbare Zusammenhänge zur Positionsbestimmung eines Rotors aus mehreren Induktivitätswerten sind näher dargestellt in der PCT-Patentveröffentlichung WO 90-15 473.

Fig. 7 zeigt eine verwandte Darstellung eines derartigen Algorithmus zur Analyse von drei Frequenzsignalen zum Zwecke der Rotorpositionsbestimmung eines Rotorteils 7. Fig. 7 weist eine Abszisse 70 in x-Richtung auf sowie eine Ordinate 71, welche als Skala für gemessene Frequenzwerte der Oszillatoren dient. Beide Achsen kreuzen sich im Ursprung 77. Zunächst werden mit gleichgroßen (äquidistanten) Abständen die Werte von gemessenen Frequenzen  $f_1$ ,  $f_2$  und  $f_3$  eingetragen, wie dies durch die Punkte 72, 73 und 74 symbolisiert ist. Diese Darstellung wird im Prinzip periodisch fortgesetzt durch (ebenfalls äquidistante) Werte  $f'_1$ , etc., von denen jedoch nur  $f'_1$  mit Bezugsziffer 72' dargestellt ist, da die gezeigten Verhältnisse prinzipiell keine weiteren Informationen aufzeigen.

Zu den eingetragenen Werten  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  wird eine Sinusfunktion konstruiert, welche eine Periode besitzt, die dem x-Abstand zwischen 72 und 72' entspricht und welche genau durch alle drei Punkte 72, 73 und 74 geht. Eine solche Sinusfunktion schwankt um eine Basislinie 76, welche die Sinusfunktion an zwei Punkten, 75 und 75' schneidet.

Vom Punkt 75 wird das Lot auf die Abszisse 70 gefällt und ergibt den Fußpunkt 78, dessen Distanz zum Ursprung 77 mit Theta bezeichnet ist. Dieser Wert Theta variiert nun mit Verdrehung des Rotorteils 7 in direkt proportionaler Weise, wobei die Periodenlänge zwischen 72 und 72' direkt einer Periodizität des Sensors von 360 deg. el entspricht. Dieser Zusammenhang ist um so exakter, je genauer die Induktivitätsfunktionen  $L_i$

aus Fig. 6 sich durch eine Summe aus Konstantwert und reiner Sinusfunktion darstellen lassen.

Es ist daher ein Gegenstand der vorliegenden Erfindung, alle sachdienlichen Maßnahmen zu treffen, um einen solchen harmonischen Verlauf der Funktionen von Meßwerten zu realisieren. Je nach Aufbau der elektronischen Schaltung ist es dabei erwünscht, entweder die Induktivitätsfunktion direkt mit einer Modulation in Form einer Sinusfunktion zu versehen (im Falle von Gyratorschaltungen) oder der Funktion  $1/(L(\phi))$  eine besonders oberwellenarme Form zu geben (im Falle von L/C-Oszillator-Schaltungen).

Für viele Anwendungsfälle ist die alternative Betrachtung zwischen Induktivitätsverlauf und Verlauf der Oszillatorkreisen jedoch von weniger wichtiger Bedeutung, da die Induktivitätswerte typischerweise nur um etwa 5 .. 10% schwanken.

Dementsprechend ist die Beziehung zwischen Induktivitätsänderung und Frequenzänderung in erster Näherung proportional, gemäß der Beziehung

$$\sqrt{(100\% \pm 2 \cdot a\%)} \approx 1/(100\% \pm a\%)$$

für Werte von  $a$  im Bereich von etwa -10 bis +10.

Sofern an den Sensor in bezug auf Auflösung weniger hohe Anforderungen gestellt werden, genügen dann zur Ermittlung des Winkels Theta gemäß Fig. 7 Näherungsrechnungen.

Eine wichtige solcher Näherungslösungen basiert darauf, daß im Falle eines dreizähligen Spulensatzes anstelle des exakten Wertes für  $\sqrt{3} = 1.732\dots$  ein Näherungswert in Höhe von  $3/2 = 1.5000$  verwendet wird. Hierdurch kann die numerische Berechnung des Wertes für Theta mittels eines Mikroprozessors oder Mikrocontrollers wesentlich beschleunigt werden.

Es versteht sich, daß die beschriebene Vorgehensweise nicht limitiert ist auf die Analyse von drei Meßwerten, sondern auch mit 2, 4, 5, 6, 7 etc. Meßwerten vorgenommen werden kann.

In diesem Falle ist eine Sinusfunktion zu suchen, die mit bester Approximation die Meßwerte verbindet. Diese wird vorzugsweise mit Hilfe einer diskreten Fouriertransformation errechnet oder mit direkt äquivalenten Maßnahmen wie z. B. einer Schwerpunktsanalyse. Darauf hinaus stehen weitere Analyseverfahren zur Verfügung, wie z. B. Korrelationsanalysen, Analysen mittels sog. künstl. neuronaler Netze, sog. fuzzy logic usw. Diese liefern im wesentlichen vergleichbare Analyseergebnisse. Sie zeichnen sich jedoch derzeit durch einen höheren Hardwareaufwand aus.

Es versteht sich, daß bei dieser Betrachtungsweise die Periode der Sinusfunktion mit der Periode über alle Meßwerte übereinstimmen soll. Fallen die Meßwerte nicht auf eine solche Sinusfunktion (wobei zusätzliche konstante Glieder hier zunächst außer Betracht bleiben), so ist dies gleichbedeutend mit der Existenz höherer Harmonischer (d. h. sinusförmige Oberwellen). Eine eindeutige Rekonstruktion der gesuchten Rotorposition ist dann ohne Korrekturmaßnahmen (z. B. anhand von Tabellen) nicht möglich.

Es ist ersichtlich, daß die Variation der Spuleninduktivitäten  $L_i$  gem. Fig. 6 bzw. die Variation der zugehörigen Oszillatorkreisen gemäß Fig. 2 möglichst oberwellenarm sein sollen, das heißt, daß es sich um eine reine Sinusfunktion handeln sollte.

Die höheren Oberwellen (Harmonischen) der Funktion sind dann im Vergleich zur Grundwelle (ersten Harmonischen) vergleichsweise schwach ausgeprägt.

Fig. 8 zeigt eine weitere erfindungsgemäße Maßnahme, gemäß der es möglich ist, den ferromagnetischen Anteil des Rotorteils 7, der z. B. auch in Form gesinterten Materials hergestellt sein kann, noch mit einem Anteil diamagnetisch wirkenden Materials kombiniert wird. Kontur 81 berandet z. B. die ferromagnetisch wirkende Komponente des Rotors 7, während Kontur 82 die diamagnetisch wirkende Komponente berandet.

Zur Vermeidung von Wirbelströmen im Rotor weisen die einzelnen Teile des Rotors bevorzugt Schlitze 83, 84 auf.

Bevorzugte Ausführungsformen des Sensors zeigen Fig. 9 bis 12.

Fig. 9 zeigt ein zweiflügiges Rotorteil, welches um den Durchstoßungspunkt einer Achse 30 gedreht wird.

Seine Berandung 90 verläuft exakt gemäß einer allgemeinen Konchoide und weist an zwei Stellen des Umfangs Minimalradien 92 auf und, um 90 deg. mech. dazu versetzt, Maximalradien 91.

Eine weitere Berandung dieser Art zeigt Fig. 10 mit ebenfalls exaktem Berandungsverlauf in Form einer Konchoide. Die Parameter der Berandungskurve sind jedoch so gewählt, daß im Bereich der Minimalradien 102 annähernd geradlinige Seitenstücke vorhanden sind. Im Bereich der Maximalradien 101 sind andererseits nahezu kreisbogenförmige Konturen vorhanden.

Eine weitere Berandung dieser Art zeigt eine weitere Konchoide 110 in Fig. 11. Auch diese wird um den Durchstoßungspunkt einer Achse 30 gedreht und besitzt aufgrund der gewählten Parameter nur einen Minimalradius 112 und einen Maximalradius 111. Ein Rotor mit dieser Berandung eignet sich z. B. im Zusammenspiel mit einem Statorteil mit drei Induktivitäten besonders dazu, ein eindeutiges Positionssignal auf 360 deg. mech. abzugeben, d. h. 360 deg. el. des Positionssignals entsprechen 360 deg. mech.

Eine bevorzugte Spulenauslegung für Induktivitäten des Statorteils eines Sensors zeigt Fig. 12.

Hier erstrecken sich die drei Induktivitäten 123, 124 und 125 jeweils über einen Winkel alpha (Bezugszeichen 122) von 90 deg. mech. und sind symmetrisch über den Vollkreis angeordnet. Sie werden durch den Außen-durchmesser 130 begrenzt und nach innen durch den Innendurchmesser 121, bezogen auf ein Sensorzentrum 120, welches koaxial mit einer Rotorachse 30 liegt.

Die Anschlußpunkte 126 und 127 einer Spule sind verbunden mit einer Elektronik z. B. in Form einer integrierten Schaltung 128, welche in einer bevorzugten Ausführungsform einen frequenzbestimmenden Kondensator 129 aufweist.

Es versteht sich, daß die Anwendungsmöglichkeiten des erfindungsmäßigen Drehstellungsgebers vielfältig sind und neben einer Verwendung des Sensors als Dreh-lagemelder für einen beliebigen Motor auch kleinere und miniaturisierte Ausführungsformen herstellbar sind, wie sie z. B. in Computer-Ueripheriegeräten benötigt werden oder zur Überwachung von Ventilen oder Drosselklappen benötigt werden.

#### Patentansprüche

60

1. Sensor, insbesondere für Drehbewegungen, mit variablen Induktivitäten in Form von Flachspulen, welche insbesondere in Form gedruckter Schaltungen ausgeführt sind und ihre Induktivitätskenwerte in Abhängigkeit von der Anwesenheit eines oder mehrerer metallischer oder ferromagnetisch oder diamagnetisch wirkender Gegenstände ändern,

wobei die Induktivitäten und mindestens einer der besagten Gegenstände relativ zueinander beweglich sind, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- es sind mindestens zwei separate Induktivitäten vorhanden,
- es ist eine Einrichtung zur Ermittlung von Kennwerten der Induktivitäten vorhanden,
- es ist eine Einrichtung zur Durchführung einer Musteranalyse vorhanden welche die Kennwerte der Induktivitäten insbesondere mittels einer harmonischen Analyse analysiert,
- es ist eine Einrichtung vorhanden, welche das Ergebnis der Musteranalyse in einen Positions-wert umwandelt.

2. Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenstände zumindest anteilig aus einem metallischen Blech oder Sintermaterial, vorzugsweise Eisenblech oder Aluminiumblech bestehen.

3. Sensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenstände eine definierte Berandung oder eine definierte effektive Berandung aufweisen.

4. Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Berandung der Gegenstände zumindest angenähert die Form einer allgemeinen Konchoide aufweist.

5. Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Berandung von annähernd oval-elliptischer Form ist oder annähernd die Form einer Ziffer "8" aufweist oder zumindest angenähert die Form einer Lemniskate aufweist.

6. Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Berandung oder effektiv wirkende Berandung des beweglichen Teils des Sensors die Abwicklung einer Funktion darstellt, welche durch ein konstantes Glied mit additiv überlagerter Sinusschwingung definiert ist.

7. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktivitäten an mindestens einer Seite eine im wesentlichen geradlinige Berandung in bevorzugt radialer Rich-tung aufweisen.

8. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktivitäten an den Seiten eine kurvenförmige Berandung aufweisen.

9. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktivitäten vorzugsweise ortsfest angeordnet sind und die metallischen Gegenstände drehbar um eine Achse angeordnet sind, welche Achse zu den Normalen der Induktivitäten bzw. Spulen im wesentlichen parallel gerichtet ist.

10. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Induktivitäten ein frequenzbestimmendes Element von Oszillatoren darstellen, deren Oszillationsfrequenz in Abhängigkeit von Anwesenheit und Überde-kungsgrad durch einen vorzugsweise metallischen oder ferromagnetischen Gegenstand verändert wird, wobei mit gleichmäßig forschreitender Be wegung des Gegenstands eine Frequenzvariation der Oszillatoren von zumindest annähernd sinusförmigem Verlauf ausgeführt wird und die Induktivitäten so angeordnet sind, daß der annähernd si-nusförmige Verlauf der Frequenzvariationen un-

# DE 42 13 866 A1

9

- tereinander jeweils definierten Phasenversatz aufweist, welcher Phasenversatz zumindest annähernd einen ganzzahligen Bruchteil von 360 deg. el. beträgt, insbesondere z. B. 120 deg. el.
11. Sensor nach einem der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Anordnung zur Ausführung einer Muster-Analyse vorhanden ist, welche aus einer elektronischen Schaltung, insbesondere einer Mikroprozessorschaltung oder aus einem Mikrokontroller, besteht. 5
12. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die metallischen Gegenstände zumindest einen Anteil in Form eines Blechstücks aus Amorphmetall aufweisen. 10
13. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die um eine Achse drehbaren metallischen Gegenstände Schlitze aufweisen zur Reduzierung von Wirbelströmen, welche Slitze sich vorzugsweise in radialer Richtung in bezug auf die genannte Achse erstrecken. 15
14. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Variation der Oszillatorkreisen mit fortschreitender Bewegung eines beweglichen Teils des Sensors einen periodischen Funktionsverlauf aufweist wobei 25 die höheren Harmonischen der Funktion im Vergleich zur ersten Harmonischen vergleichsweise schwach ausgeprägt sind.
15. Sensor nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die dritten und höheren Harmonischen der Funktion praktisch vollständig unterdrückt sind. 30
16. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenstände (Rotorteile) einen ferromagnetischen Anteil 35 oder einen Anteil mit diamagnetischer Eigenschaft einzeln oder in Kombination aufweisen.
17. Datenverarbeitungsanlage mit angeschlossenem Peripheriegerät in Form einer sogenannten "Maus" oder eines sogenannten "Trackballs", welches peripheriegerät Sensoren zur Wandlung von Drehbewegungen in elektrische Signale besitzt, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensoren mindestens zwei separate variable Induktivitäten in Form von Flachspulen aufweisen, welche insbesondere in 45 Form gedruckter Schaltungen ausgeführt sind und deren Induktivitätskennwerte in Abhängigkeit von der Anwesenheit eines oder mehrerer metallischer oder ferromagnetisch oder diamagnetisch wirkender Gegenstände variieren, wobei die Induktivitäten und mindestens einer der besagten Gegenstände relativ zueinander beweglich sind und wobei die Berandung der Gegenstände zumindest angenähert in oval-elliptischer Form, oder in Form einer allgemeinen Konchoide oder annähernd in Form 55 einer Ziffer "8" oder zumindest angenähert in Form einer Lemniskate ausgeführt ist.
18. Antriebssystem mit einem insbesondere elektrisch, pneumatisch oder thermisch betriebenen Motor und mit einer Sensorvorrichtung zur Erfassung der Drehbewegung oder Winkelstellung der Motorachse, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:
- die Sensorvorrichtung besitzt als Wandler mindestens zwei separate variable Induktivitäten in Form von Flachspulen welche insbesondere in Form gedruckter Schaltungen ausgeführt sind und deren Induktivitätskennwerte in 65

10

- Abhängigkeit von der Anwesenheit eines oder mehrerer metallischer oder ferromagnetisch oder diamagnetisch wirkender Gegenstände variieren, wobei die Induktivitäten und mindestens einer der besagten Gegenstände relativ zueinander beweglich sind,
- es ist eine Einrichtung zur Ermittlung von Kennwerten der Induktivitäten vorhanden,
  - es ist eine Einrichtung zur Durchführung einer Musteranalyse vorhanden welche die Kennwerte der Induktivitäten insbesondere mittels einer harmonischen Analyse analysiert,
  - es ist eine Einrichtung vorhanden welche das Ergebnis der Musteranalyse in einen Positions Wert umwandelt.
19. Strömungs-Stellglied oder einstellbares Ventil mit Rückmeldevorrichtung für die Position eines Ventilschiebers oder einer Drosselklappe, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:
- die Rückmeldevorrichtung besitzt als Wandler mindestens zwei separate variable Induktivitäten in Form von Flachspulen, welche insbesondere in Form gedruckter Schaltungen ausgeführt sind und deren Induktivitätskennwerte in Abhängigkeit von der Anwesenheit eines oder mehrerer metallischer oder ferromagnetisch oder diamagnetisch wirkender Gegenstände variieren, wobei die Induktivitäten und mindestens einer der besagten Gegenstände relativ zueinander beweglich sind,
  - es ist eine Einrichtung zur Ermittlung von Kennwerten der Induktivitäten vorhanden
  - es ist eine Einrichtung zur Durchführung einer Musteranalyse vorhanden, welche die Kennwerte der Induktivitäten insbesondere mittels einer harmonischen Analyse analysiert
  - es ist eine Einrichtung vorhanden, welche das Ergebnis der Musteranalyse in einen Positions Wert umwandelt.
20. Musteranalyse-Vorrichtung zur Analyse von mindestens drei Oszillatorkreisen, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung zur Ermittlung der Phasenlage einer ersten Harmonischen (Grundschwingung) vorhanden ist, welche Grundschwingung durch die Werte der drei Oszillatorkreisen definiert ist (Fig. 7).
21. Musteranalyse-Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung zur näherungsweisen Ermittlung eines Wertes der ersten Harmonischen (Grundschwingung) vorhanden ist.
22. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Verwendung in einem Computer-Peripheriegerät, insbesondere einer sogenannten "Maus".
23. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Verwendung als Lagemelder in einem Motor, insbesondere einem Elektromotor.
24. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Verwendung als Lagemelder für ein Ventil oder Strömungs-Stellglied, wie z. B. einer Drosselklappe.
25. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche und zugehöriges Positionsmeßverfahren, dadurch gekennzeichnet, daß eine Positionsermittlung eines beweglichen Teils des Sensors durch gleichzeitige oder im wesentlichen gleichzeitige

11

12

Messung der Oszillationsfrequenzen durchgeführt wird, wobei die Werte der gemessenen Oszillationsfrequenzen einer Musteranalyse, zum Beispiel einer harmonischen Analyse, (vorzugsweise einer diskreten Fouriertransformation) unterzogen werden und die Phasenlage einer ermittelten ersten Harmonischen (d. h. einer Grundschwingung), einen Kennwert für die Position des Rotors darstellt.  
26. Sensor nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, und zugehöriges Positionsmeßverfahren, dadurch gekennzeichnet, daß eine näherungsweise Ermittlung eines Werts der ersten Harmonischen ausgeführt wird.

---

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

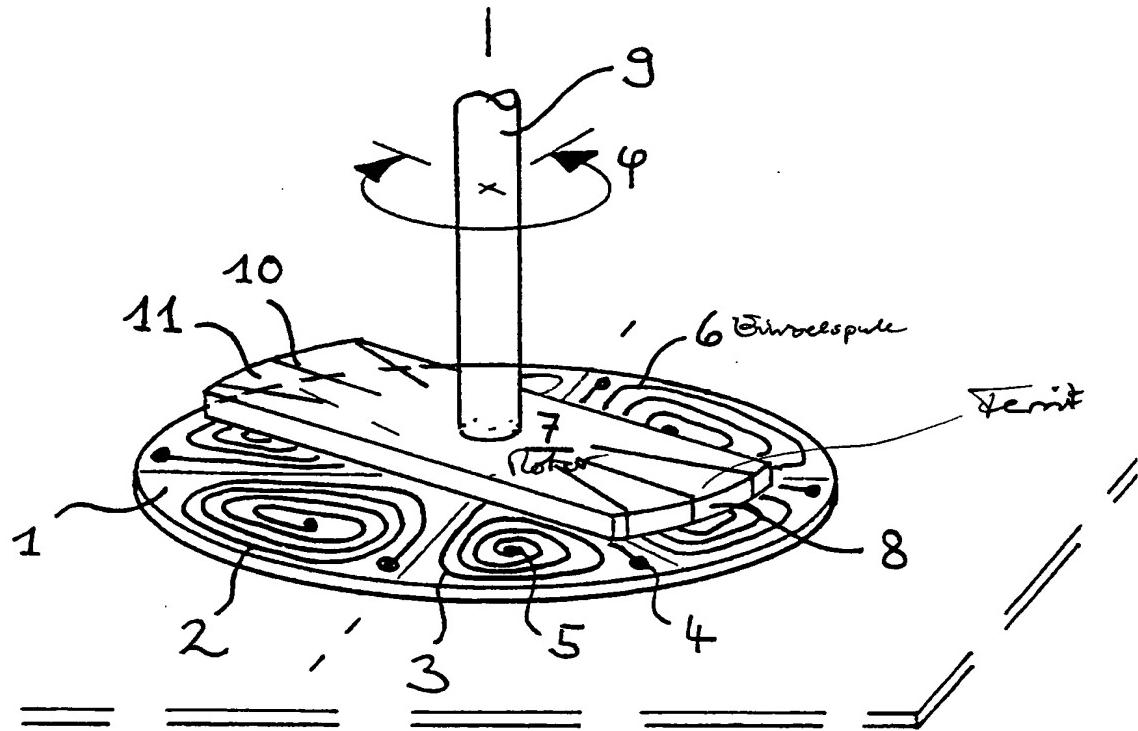
45

50

55

60

65



F. G. 1

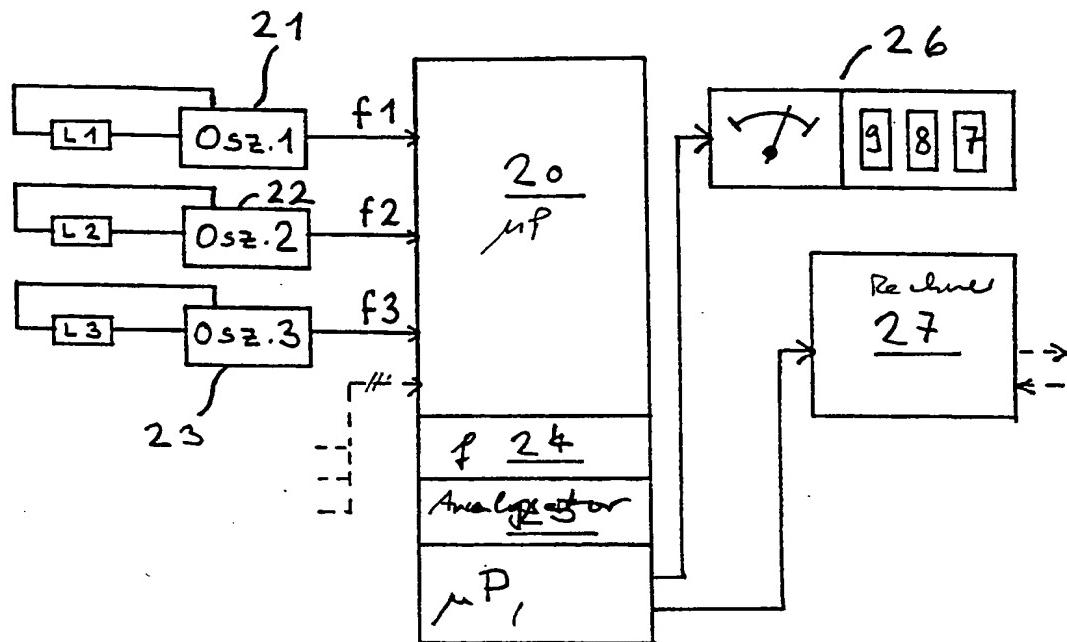


Fig. 2